

## 19 Элементы современной физики

### 19.1 Специальная теория относительности

19.1.1<sup>0</sup> Неподвижный наблюдатель  $I$ , находящийся посередине между точками  $A$  и  $B$ , увидел, что в эти точки одновременно попали молнии (см. рисунок 1). Одновременны ли эти события для неподвижных наблюдателей  $II$  и  $III$ . Для каких еще неподвижных относительно  $A$  и  $B$  наблюдателей, кроме наблюдателя  $I$ , события в  $A$  и  $B$  будут одновременными?

19.1.2<sup>0</sup> В тот момент, когда середина поезда, движущегося равномерно и прямолинейно, проходит мимо наблюдателя  $II$ , стоящего посередине перрона (рис. 2), одновременно для этого наблюдателя на концах перрона зажигаются фонари  $A$  и  $B$ . Одновременны ли эти события для наблюдателя  $I$ , находящегося в середине движущегося поезда?

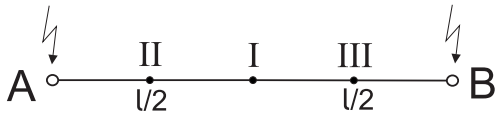


Рис. 1:

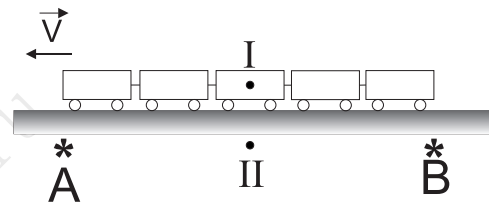


Рис. 2:

19.1.3<sup>0</sup> Можно ли утверждать, что события, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, одновременны и во всех других инерциальных системах отсчета?

19.1.4 Собственная длина стержня 1 м. Определить его длину для наблюдателя, относительно которого стержень перемещается со скоростью  $v = 0,6 \cdot c$ , направленной вдоль стержня.

19.1.5 При какой скорости движения релятивистское сокращение длину движущегося тела составляет 1%? 25%?

19.1.6 Две ракеты движутся равномерно и прямолинейно параллельными курсами в одном направлении с одинаковой скоростью  $v = 0,6 \cdot c$  относительно Земли. В первой ракете происходит два последовательных события через  $\tau_0 = 8$  ч. Какое время прошло между этими событиями по часам наблюдателя, находящегося во второй ракете? По часам наблюдателя, находящегося на Земле?

19.1.7 Какое время пройдет на Земле, если в ракете движущейся со скоростью  $v = 0,99 \cdot c$  относительно Земли, пройдет 10 лет?

19.1.8 Два тела движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями  $2,0 \cdot 10^5$  км/с относительно неподвижного наблюдателя. Насколько отличаются скорости их движения относительно друг друга, вычисленные по классической и релятивистской формулам сложения скоростей?

- 19.1.9 Самолет движется со скоростью  $v$  навстречу неподвижному источнику света. С какой скоростью  $u$  самолет сближается с фотонами?
- 19.1.10 Частица движется со скоростью  $v = 3/4c$  для неподвижного наблюдателя. Во сколько раз масса этой частицы больше ее массы покоя?
- 19.1.11 С какой скоростью движется тело, масса которого для неподвижного наблюдателя равна 4 кг, если его масса покоя 2,4 кг?
- 19.1.12 Какой кинетической энергией обладает ранее покоившееся тело, если в результате разгона, его масса увеличилась на  $2m_0$ ? Какова полная энергия тела? его импульс?
- 19.1.13 Масса движущегося электрона в 11 раз больше его массы покоя. Определить кинетическую энергию электрона и его импульс?
- 19.1.14 Какая энергия выделилась бы при полном превращении 1 г вещества в материю в виде поля?

## 19.2 Излучения и спектры.

- 19.2.1<sup>0</sup> Почему цвет некоторых материалов при дневном и электрическом освещении различен?
- 19.2.2<sup>0</sup> Для чего при спектральном анализе исследуемое вещество помещают в пламя горелки или вводят в электрическую дугу?
- 19.2.3<sup>0</sup> Что можно узнать о составе сплава по излучению яркости спектральных линий в его спектре?
- 19.2.4<sup>0</sup> Излучает ли электромагнитные волны стул, на котором вы сидите?
- 19.2.5 Во сколько раз излучение абсолютно черного тела при  $100^\circ\text{C}$  больше, чем при  $0^\circ\text{C}$  ?
- 19.2.6 Принимая температуру накала нити электрической лампы, равной  $2000^\circ\text{C}$  , определить длину волны, на которую приходится максимум энергии в спектре ее излучения? В какой части спектра лежит эта волна?
- 19.2.7 Зная, что в спектре Солнца максимум энергии приходится на длину волны 550 нм, определить температуру поверхности Солнца.
- 19.2.8 Определить длину волны, на которую приходится максимум энергии в спектре звезды с температурой на поверхности 30 000 К. Чему равна интенсивность излучения такой звезды?

## 19.3 Фотон. Давление света.

- 19.3.1 Каким импульсом обладает фотон излучения с частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц? Какова масса этого фотона?
- 19.3.2 Определить импульс фотона излучения с длиной волны 600 нм. Какова масса этого фотона?

- 19.3.3** Какую энергию должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?
- 19.3.4** Найти энергию, массу и импульс фотона, если соответствующая ему длина волны равна  $1,6 \text{ пм}$ .
- 19.3.5** Найти массу фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости.
- 19.3.6** Тренированный глаз, длительно находящийся в темноте, способен в особых случаях реагировать на световой поток, приносящий в зрачок глаза всего 50 фотонов в секунду. Найти минимальную мощность, воспринимаемую глазом. Длину волны фотона принять равной  $500 \text{ нм}$ .
- 19.3.7** Лазер мощностью  $20 \text{ Вт}$  испускает за  $1 \text{ с}$   $10^{20}$  фотонов. Определить длину волны излучения.
- 19.3.8** Рентгеновская трубка, работающая при напряжении  $50 \text{ кВ}$  и токе  $2 \text{ мА}$ , излучает  $5 \cdot 10^{13}$  фотонов секунду. Принимая среднюю длину волны излучения трубки равной  $0,1 \text{ нм}$ , определите КПД трубки. Объясните, на что расходуется остальная энергия, поглощаемая из электрической сети?
- 19.3.9** Считая Землю абсолютно черным телом, вычислить силу давления солнечного излучения на земной шар.
- 19.3.10** На каждый квадратный сантиметр абсолютно черной поверхности каждую секунду падает  $2,8 \cdot 10^{17}$  фотонов с длиной волны  $400 \text{ нм}$ . Какое давление создает это излучение?
- 19.3.11** Сколько фотонов с длиной волны  $500 \text{ нм}$  должно каждую секунду падать на каждый квадратный сантиметр черной поверхности, чтобы световое давление на эту поверхность было равно  $1 \text{ Па}$ .
- 19.3.12** Сколько фотонов видимого света с длиной волны  $0,45 \text{ мкм}$  попадает на сетчатку глаза за  $2 \text{ с}$ , если мощность поглощенного сетчаткой излучения на этой длине волны составляет  $1,98 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$ .
- 19.3.13** Электрическая лампа мощностью  $100 \text{ Вт}$  каждую секунду испускает  $1 \cdot 10^{19}$  фотонов со средней длиной волны излучения  $600 \text{ нм}$ . Определите коэффициент полезного действия лампы.

## 19.4 Фотоэффект

- 19.4.1** Работа выхода электронов из золота равна  $4,59 \text{ эВ}$ . Найти красную границу фотоэффекта.
- 19.4.2** Работа выхода электронов из ртути  $4,53 \text{ эВ}$ . Возникнет ли фотоэффект, если на поверхность ртути будет падать видимый свет?
- 19.4.3** Определить максимальную кинетическую энергию электронов, вылетающих из калия при его освещении светом с длиной волны  $345 \text{ нм}$ .

- 19.4.4** На поверхность вольфрама падает излучение с длиной волны 220 нм. Определить максимальную энергию и максимальную скорость фотоэлектронов, если работа выхода из вольфрама равна 4,5 эВ.
- 19.4.5** Наибольшая длина волны света, при которой еще может наблюдаться фотоэффект на калии, равна 450 нм. Найти скорость электронов, выбитых из калия светом с длиной волны 300 нм.
- 19.4.6** Фотоны с энергией 4,9 эВ выбивают электроны из металла с работой выхода 4,5 эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.
- 19.4.7** При увеличении в два раза энергии фотонов, падающих на металлическую пластинку, максимальная энергия вылетающих фотоэлектронов увеличилась в три раза. Определить работу выхода электронов из этого металла, если первоначальная энергия фотонов 10 эВ.
- 19.4.8** Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 275 нм. Найти величину запирающего напряжения, если вольфрам освещается светом с длиной волны 175 нм.
- 19.4.9** Для полной задержки фотоэлектронов выбитых из некоторого металла излучением с длиной волны 210 нм, требуется напряжение 2,7 В. Чему равна работа выхода для этого вещества?
- 19.4.10** Фотокатод осветили лучами с длиной волны 345 нм. Запирающее напряжение при этом оказалось равным 1,33 В. Возникнет ли фотоэффект, если этот катод осветить лучами частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц?
- 19.4.11** Работа выхода электронов из ртути равна 4,53 эВ. При какой частоте излучения запирающее напряжение окажется равным 3 В?
- 19.4.12** При облучении фотокатода, покрытого стронцием, излучением с длиной волны 550 нм, запирающее напряжение оказалось равным нулю. При освещении какими лучами с поверхности стронция будут вылетать электроны с максимальной кинетической энергией 1,6 эВ?
- 19.4.13** При освещении металлической пластинки монохроматическим светом, задерживающая разность потенциалов равна 1,6 В. Если увеличить частоту света в 2 раза, задерживающая разность потенциалов станет равна 5,1 В. Определить красную границу фотоэффекта.
- 19.4.14** В опыте Столетова цинковая пластинка, заряженная отрицательно, облучалась светом вольтовой дуги. До какого минимального потенциала зарядится цинковая пластинка, если она будет облучаться монохроматическим светом с длиной волны 324 нм? Работа выхода из цинка равна 3,74 эВ.
- 19.4.15** Найти постоянную Планка, если фотоэлектроны, вырываемые из металла светом частотой  $1,2 \cdot 10^{15}$  Гц, полностью задерживаются разностью потенциалов 3,1 В, а вырываемые светом с длиной волны 125 нм - разностью потенциалов 8,1 В.
- 19.4.16** Найти постоянную Планка, если фотоэлектроны, вырываемые из металла светом частотой  $2,2 \cdot 10^{15}$  Гц, полностью задерживаются разностью потенциалов 6,6 В, а вырываемые светом с частотой  $4,6 \cdot 10^{15}$  Гц - разностью потенциалов 16,5 В.

**19.4.17** Поток фотонов падает на металлическую пластину с работой выхода  $2,6$  эВ и выбивает из пластины фотоэлектроны, которые попадают в замедляющее однородное электрическое поле с модулем напряжённости  $1$  В/м. Какое время проходит от момента начала замедления фотоэлектронов до их полной остановки, если энергия падающего фотона  $11,5$  эВ? Считайте, что все фотоэлектроны при вылете из пластины имеют одинаковую скорость.

**19.4.18** В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается жёлтым светом, в результате чего в цепи возникает ток (см. рисунок 3). Зависимость показаний амперметра  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом приведена на рисунке 3. Используя законы фотоэффекта и предполагая, что отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света, объясните, как изменится представленная зависимость  $I(U)$ , если освещать катод зелёным светом, оставив мощность поглощённого катодом света неизменной.

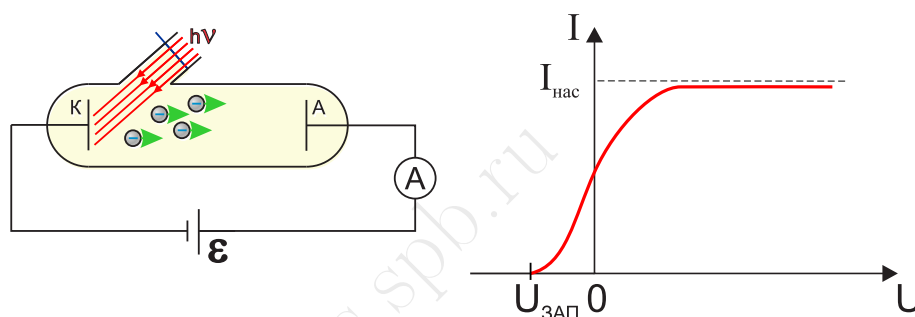


Рис. 3:

## 19.5 Модель атома Резерфорда и Бора

**19.5.1<sup>0</sup>** В чем заключалось противоречие между ядерной моделью атома Резерфорда и законами классической физики?

**19.5.2<sup>0</sup>** По какой величине Бор проводил квантование в атоме?

**19.5.3<sup>0</sup>** Может ли атом при переходе в возбужденное состояние поглотить произвольную порцию энергии?

**19.5.4<sup>0</sup>** Как по теории Бора объясняется совпадение спектров поглощения и испускания газов?

**19.5.5<sup>0</sup>** Зависит ли спектр испускания атомов от их ионизации?

**19.5.6** Чему равна энергия электрона, находящегося на третьей орбите в атоме водорода?

**19.5.7** Чему равен потенциал ионизации атома водорода, находящегося в нормальном состоянии?

**19.5.8** В таблице приведены значения энергии стационарных состояний атома водорода:

n	1	2	3	4	5	6
E, эВ	-13,6	-3,4	-1,5	-0,85	-0,54	-0,38

При переходе из некоторого стационарного состояния в состояние с  $n = 2$  атомы водорода излучают свет с длиной волны 656 нм. Какова энергия первоначального состояния атомов водорода?

**19.5.9** Определите частоту света, испускаемого атомом водорода при переходе из четвертого стационарного состояния в первое?

**19.5.10** При переходе атомов из некоторого состояния в основное излучение имело длину волны 121 нм. В каком состоянии находились атомы водорода первоначально?

**19.5.11** В каких пределах должна лежать скорость бомбардирующих электронов, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только одну спектральную линию?

**19.5.12** Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ, где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . При переходе атома из состояния  $E_2$  в состояние  $E_1$  атом испускает фотон. Попадая на поверхность фотокатода, этот фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода,  $\nu_{кр} = 6,4 \cdot 10^{14}$  Гц. Чему равен максимально возможный импульс фотоэлектрона?

**19.5.13** На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решетки 5 мкм. Какому переходу электрона соответствует спектральная линия, наблюдаемая при помощи этой решетки в спектре пятого порядка под углом  $41^\circ$ ?

**19.5.14** Электрон, столкнувшись с атомом, отскочил приобретя некоторую дополнительную энергию. Кинетическая энергия электрона до столкновения равнялась  $2,3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Схема энергетических уровней атома приведена на рисунке 4. Атом перед столкновением находился в состоянии с энергией  $E_1$ . Определите импульс электрона после столкновения с атомом. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь, до столкновения атом считать неподвижным.

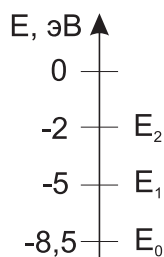


Рис. 4:

**19.5.15** Свободный пион ( $\pi$ -мезон) с энергией покоя 135 МэВ движется со скоростью  $v$ , которая значительно меньше скорости света. В результате его распада образовались два  $\gamma$ -кванта, причём один из них распространяется в направлении движения пиона, а второй - в противоположном направлении. Энергия первого кванта на 10% больше, чем второго. Чему равна скорость пиона до распада?

## 19.6 Радиоктивность

**19.6.1<sup>0</sup>** Изменяется ли химическая природа элемента при испускании  $\gamma$ -лучей его ядрами?

**19.6.2<sup>0</sup>** Какие нейтроны называются тепловыми?

**19.6.3<sup>0</sup>** Чем характеризуется быстрота распада радиоактивного вещества?

**19.6.4** Найти число протонов и нейтронов, входящих в состав  ${}_{12}^{25}\text{Mg}$

**19.6.5** Каким путем происходит превращение ядер  ${}_{92}^{238}\text{U}$  в ядра  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ ?

**19.6.6** Какой изотоп образуется из  ${}_{3}^8\text{Li}$  после одного  $\beta$ -распада и одного  $\alpha$ -распада?

**19.6.7** Какой изотоп образуется из  ${}_{92}^{239}\text{U}$  после двух  $\beta$ -распадов и одного  $\alpha$ -распада?

**19.6.8** Какой изотоп образуется из  ${}_{92}^{238}\text{U}$  после двух  $\beta$ -распадов и одного  $\alpha$ -распада?

**19.6.9** Во что превращается изотоп тория  ${}_{90}^{234}\text{Th}$ , ядра которого претерпевают три последовательных  $\alpha$ -распада?

**19.6.10** Какой изотоп образуется из  ${}_{92}^{238}\text{U}$  после трех  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta$ -распадов?

**19.6.11** Ядра изотопа  ${}_{83}^{211}\text{Bi}$  получилось из другого ядра после последовательных  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов. Что это было за ядро?

**19.6.12** Ядро полония  ${}_{84}^{216}\text{Po}$  образовалось после двух последовательных  $\alpha$ -распадов. Из какого ядра получилось ядро полония?

**19.6.13** Какая доля радиоактивных ядер некоторого элемента распадается за время, равное половине периода полураспада?

**19.6.14** Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через месяц, если период его полураспада равен 71 дню?

**19.6.15** Активность радиоактивного элемента уменьшилась в четыре раза за 8 дней. Найдите период полураспада.

**19.6.16** Сколько атомов полония-210 распадется за две недели из  $10^6$  атомов, если период полураспада примерно 140 дней?

**19.6.17** Сколько атомов радона распадется за сутки из  $10^6$  атомов, если период полураспада 3,8 суток?

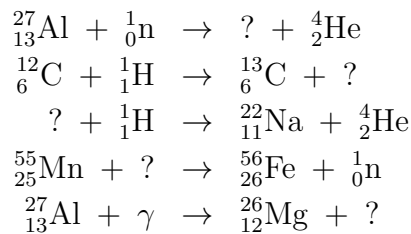
**19.6.18** Период полураспада изотопа натрия  ${}_{11}^{22}\text{Na}$  равен 2,6 года. Если изначально было  $10^4$  этого изотопа, то сколько его будет через 5,2 года?

- 19.6.19** Среди радиоактивных загрязнений, вызванных аварией на Чернобыльской АЭС, наиболее опасными являются долгоживущие продукты деления, такие как стронций-90 и цезий-137. Вычислите, сколько времени должно пройти к моменту, когда активность этих загрязнений уменьшится в 10 раз? Периоды полураспада стронция-90 28 лет, цезия-137 30 лет.
- 19.6.20** В пробирке содержатся атомы радиоактивных изотопов ванадия и хрома. Период полураспада ядер ванадия 16,1 суток, период полураспада ядер хрома 27,8 суток. Через 80 суток число атомов ванадия и хрома сравнялось. Во сколько раз вначале число атомов ванадия превышало число атомов хрома?
- 19.6.21** Образец радиоактивного радия  ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают альфа-распад с периодом полураспада 3,6 суток. Определите сколько молей гелия будет в сосуде через 10,8 суток, если образец в момент его помещения в сосуд имел в своем составе  $4,8 \cdot 10^{23}$  атомов радия-224, а атомов гелия в сосуде не было.
- 19.6.22** В открытый контейнер объёмом 80 мл поместили изотоп полония-210  ${}^{210}_{84}\text{Po}$ . Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило  $1,3 \cdot 10^5$  Па. Какую массу полония первоначально поместили в контейнер? Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равной  $45^\circ\text{C}$ . Атмосферное давление равно  $10^5$  Па.

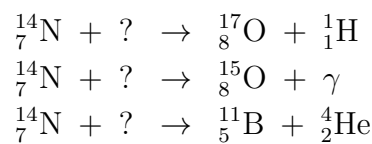
## 19.7 Энергия связи. Ядерные реакции.

- 19.7.1<sup>0</sup>** Чему равна энергия связи ядра водорода?
- 19.7.2<sup>0</sup>** Почему при  $\alpha$ -распаде одинаковых ядер энергии  $\alpha$ -частиц одинаковы, а при  $\beta$ -распаде одинаковых ядер энергии  $\beta$ -частиц различны?
- 19.7.3** Найти энергию связи следующих ядер:  ${}^4_2\text{He}$ ;  ${}^7_3\text{Li}$ ;  ${}^{27}_{13}\text{Al}$ ;  ${}^{63}_{29}\text{Ca}$ ;  ${}^{113}_{48}\text{Co}$ ;  ${}^{238}_{92}\text{U}$
- 19.7.4** При бомбардировке алюминия  ${}^{27}_{13}\text{Al}$   $\alpha$ -частицами образуется фосфор  ${}^{30}_{15}\text{P}$ . Записать эту реакцию и подсчитать выделенную энергию?
- 19.7.5** При обстреле ядер фтора  ${}^{19}_9\text{F}$  протонами образуется кислород  ${}^{16}_8\text{O}$ . Сколько энергии высвобождается при этой реакции и какие еще ядра образуются?
- 19.7.6** Какие ядерные реакции происходят при облучении  $\alpha$ -частицами ядер изотопа азота  ${}^{14}_7\text{N}$ ? Ядер бериллия  ${}^9_4\text{Be}$ ?
- 19.7.7** При бомбардировке изотопа азота  ${}^{14}_7\text{N}$  нейтронами получается изотоп углерода  ${}^{16}_{12}\text{C}$ , который оказывается  $\beta$ -радиоактивным. Напишите уравнение обеих реакций.
- 19.7.8** Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:

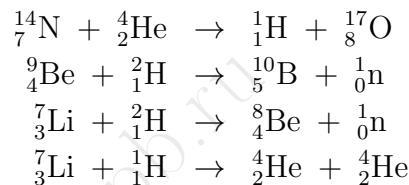




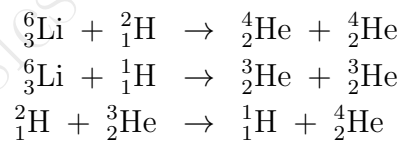
19.7.9 Какая бомбардирующая частица применялась в следующих реакциях:



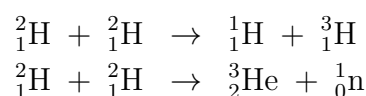
19.7.10 Найти энергию поглощенную или выделившуюся в следующих реакциях:



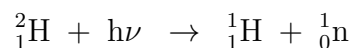
19.7.11 Найти энергию, выделяющуюся в следующих реакциях:



19.7.12 Найти энергию, выделяющуюся в следующих термоядерных реакциях:



19.7.13 Найти наименьшую энергию  $\gamma$ -кванта, достаточную для осуществления реакции разложения дейтерия:



19.7.14 При делении одного ядра урана-235 на два осколка выделяется энергия 200 МэВ. Какая энергия освобождается при сжигании в ядерном реакторе 1 г этого изотопа? Сколько каменного угля надо сжечь, чтобы получить столько же энергии?